

## La biomimetica in Italia

La “biomimetica” è lo studio dei processi biologici e biomeccanici di animali e piante come fonte di ispirazione per il miglioramento tecnologico. Questi studi vengono condotti anche in Italia, siamo dunque lieti di ospitare una sintesi delle ricerche in materia biomimetica condotte dal laboratorio del Prof. Nicola Pugno dell'Università di Trento. Nicola Pugno (foto in basso a sinistra) è ingegnere e fisico con dottorati in ingegneria e biologia. Attualmente è professore ordinario di Scienza delle Costruzioni presso l'Università degli Studi di Trento (in basso a destra il logo del suo laboratorio) e di Scienza dei Materiali presso la Queen Mary University di Londra, oltre che membro del comitato tecnico e scientifico dell'Agenzia Spaziale Italiana. Ha ricevuto la medaglia Griffith nel 2017 e 4 grants dall'European Research Council per l'eccellenza scientifica. Vincitore del primo premio GiovedìScienza per la divulgazione scientifica. Il sito del suo laboratorio, dove lavora un team internazionale, è <http://www.ing.unitn.it/~pugno//>



### Ingegneria bio-ispirata a coleotteri e ragni

a cura di Lakshminath Kundanati, Gabriele Greco e Nicola M. Pugno  
 Laboratory of bio-inspired and graphene nanomechanics,  
 Department of Civil, Environmental and Mechanical Engineering,  
 University of Trento, Italy, 38123 - e-mail: [nicola.pugno@unitn.it](mailto:nicola.pugno@unitn.it)

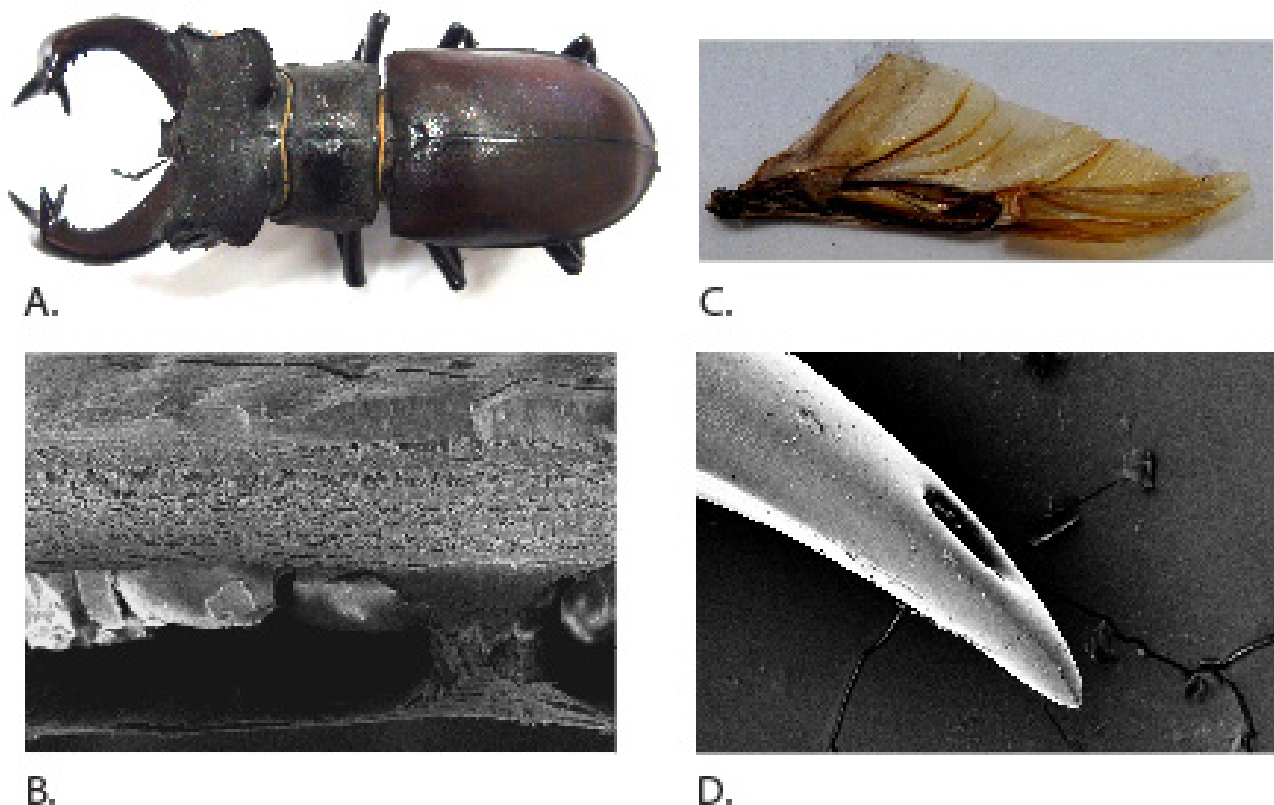
Il nostro laboratorio è nato grazie ad un finanziamento dell'European Research Council (ERC) ed è incentrato sulla nanomeccanica bio-ispirata. L'ERC ci ha poi finanziato tre progetti successivi per il trasferimento tecnologico. Le fonti di ispirazione e i relativi studi sono stati centinaia, si veda <http://www.ing.unitn.it/~pugno//>. Qui ci limitiamo a descrivere un paio di studi recenti, su coleotteri e ragni.

Il successo evolutivo di insetti e aracnidi è dovuto alla capacità di adattarsi e sopravvivere in ambienti diversi e anche ostili, grazie alle dimensioni ridotte, l'abilità di volare (negli insetti), aderire a superfici, procurarsi cibo, proteggersi con l'esoscheletro e riprodursi con successo. Gli scienziati, in particolare gli ingegneri, si ispirano pertanto a questi animali per sviluppare tecnologie e materiali innovativi, come il perforamento, le superfici idrofobiche, le superfici adesive e quindi robots che

siano in grado di muoversi in terreni ostili (Menon et al., 2006; Parker & Lawrence, 2001; Armour et al., 2007; Akerboom et al., 2015). Per esempio, l'ovopositore delle vespe e l'apparato boccale delle zanzare sono stati fonte d'ispirazione per sonde chirurgiche e aghi, al fine di ridurre la forza per il penetramento sottocutaneo e aumentarne la manovrabilità (Kundanati & Gundiah, 2014; Schneider et al., 2009; Yang & Zahn, 2004). L'esoscheletro degli insetti, inoltre, fornisce protezione grazie a delle strutture meccaniche specializzate (Vincent & Wegst, 2004) che hanno portato allo sviluppo di materiali compositi per applicazioni ingegneristiche.

Il cervo volante (*Lucanus cervus*) è un coleottero che cade spesso dagli alberi a causa di battaglie tra conspecifici, queste cadute però non producono ammaccature grazie alla particolare struttura dell'esoscheletro e in particolare delle elitre. Per questo motivo, usandolo come modello (Figura 1A), stiamo studiando la struttura e le proprietà delle elitre per progettare compositi bio-ispirati (Figura 1B). Stiamo inoltre investigando il dispiegamento e il ripiegamento delle ali di questi insetti, utile da mimare, per esempio, nelle vele solari (Figura 1C).

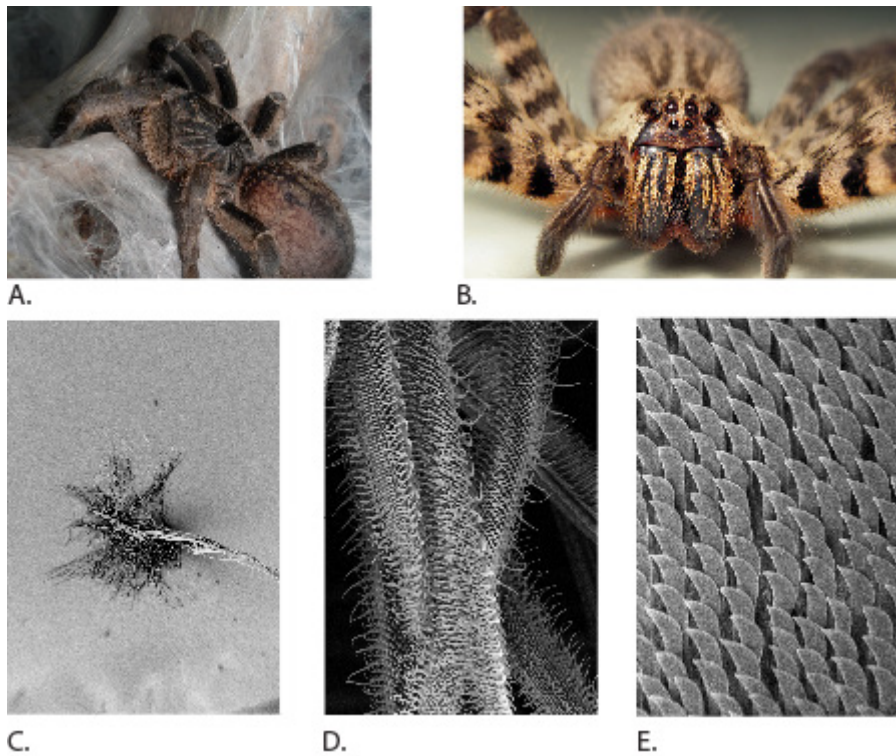
Le zanne dei ragni sono fatte di strutture gerarchiche specializzate per la cattura delle prede (Politi et al., 2012). È in programma, dunque, lo studio delle loro proprietà e struttura per investigare il ruolo della forma nei loro morsi (Figura 1D). Diversi studi di modellistica sono stati condotti per comprendere il comportamento a frattura di queste strutture biologiche e la relativa progettazione di materiali bio-ispirati (Signetti & Pugno, 2015).



**Figura 1.** A) Cervo volante B) ala del cervo volante C) sezione dell'elitra D) apice della zanna di *Zoropsis spinimana* (Arachnida) dove si vede il foro del canale velenifero.

La seta prodotta dai ragni per costruire trappole e ovisacchi protettivi può essere lavorata, fabbricata e ingegnerizzata geneticamente con finalità mediche (Kluge et al., 2008; Kundanati et al., 2016; Mandal et al., 2009; Vasconcelos et al., 2012). La seta di ragno ha poi ispirato miglioramenti della tenacità di una fibra usando dei nodi (Pantano et al., 2016). Attualmente, stiamo caratterizzando meccanicamente e strutturalmente diverse tipologie di seta da specie differenti (Figura 2A-B) per capirne le differenze e progettare le controparti artificiali. Per esempio, la seta utilizzata per ancorare le ragnatele al substrato compie un ruolo fondamentale per la robustezza dell'intera struttura orbicolare (Figura 2C).

Gli insetti e gli aracnidi, inoltre, servono come fonte d'ispirazione per lo sviluppo di materiali con maggiore efficienza nell'adesione. Un recente studio analitico su ragni e mosche ha mostrato che la resistenza adesiva dipende dalla larghezza totale dei contatti terminali, che quindi devono essere nanoscopici (Varenberg et al., 2010). Per questo motivo stiamo anche studiando le strutture adesive sulle zampe dei ragni (Figura 2D) e l'adesione basata su elementi di frizione presenti nell'esoscheletro (Figura 2E), per poter fabbricare adesivi a struttura fibrosa (Piccardo et al., 2013).



**Figura 2.** A) *Ceratogyrus marshalli* B) *Cupiennius salei*, immagini da microscopio elettronico a scansione di C) ancoraggio della tela (*Cupiennius salei*), D) peli sulle zampe (*Cupiennius salei*) e E) strutture pelose sull'addome.

## Ringraziamenti

Ringraziamo Enrico Simeon per la foto di *Cupiennius salei* e Nicola Angeli per l'aiuto delle immagini SEM.

## Bibliografia

- Kluge, J. a, Rabotyagova, O., Leisk, G. G. and Kaplan, D. L.** (2008). Spider silks and their applications. *Trends Biotechnol.* **26**, 244–51.
- Kundanati, L. and Gundiah, N.** (2014). Biomechanics of substrate boring by fig wasps. *J. Exp. Biol.* **217**, 1946–54.
- Kundanati, L., Singh, S., Mandal, B., Murthy, T., Gundiah, N. and Pugno, N.** (2016). Fabrication and Mechanical Characterization of Hydrogel Infused Network Silk Scaffolds. *Int. J. Mol. Sci.* **17**, 1631.
- Mandal, B. B., Kapoor, S. and Kundu, S. C.** (2009). Silk fibroin/polyacrylamide semi-interpenetrating network hydrogels for controlled drug release. *Biomaterials* **30**, 2826–36.
- Pantano, M. F., Berardo, A. and Pugno, N. M.** (2016). Tightening slip knots in raw and degummed silk to increase toughness without losing strength. *Sci. Rep.* **6**, 18222.
- Piccardo, M., Chateauminois, A., Fretigny, C., Pugno, N. M. and Sitti, M.** (2013). Contact compliance effects in the frictional response of bioinspired fibrillar adhesives. *J. R. Soc. Interface* **10**, 20130182.
- Politi, Y., Priewasser, M., Pippel, E., Zaslansky, P., Hartmann, J., Siegel, S., Li, C., Barth, F. G. and Fratzl, P.** (2012). A spider's fang: How to design an injection needle using chitin-based composite material. *Adv. Funct. Mater.* **22**, 2519–2528.
- Schneider, A., Frasson, L., Parittotokkaporn, T., Rodriguez y Baena, F. M., Davies, B. L. and Huq, S. E.** (2009). Biomimetic microtexturing for neurosurgical probe surfaces to influence tribological characteristics during tissue penetration. *Microelectron. Eng.* **86**, 1515–1517.
- Signetti, S. and Pugno, N. M.** (2015). Frontiers in Modeling and Design of Bio-Inspired Armors. *Front. Mater.* **2**, 2014–2016.
- Varenberg, M., Pugno, N. M. and Gorb, S. N.** (2010). Spatulate structures in biological fibrillar adhesion. *Soft Matter* **6**, 3269.
- Vasconcelos, A., Gomes, A. C. and Cavaco-Paulo, A.** (2012). Novel silk fibroin/elastin wound dressings. *Acta Biomater.* **8**, 3049–60.
- Yang, M. and Zahn, J. D.** (2004). Communications & Therapeutic Micro and Nanotechnology Section: Microneedle Insertion Force Reduction Using Vibratory Actuation. *Biomed. Microdevices* 177–182.